

Anexo 1: Inicio del proyecto y estado del arte.

Este proyecto inicialmente fue un chaleco instructor de natación, dicho chaleco debía ser capaz de estabilizar al usuario en forma horizontal, además de tener mecanismos que lo mantengan seguros, tales como retirar la cabeza del agua para que pueda respirar, un pulsómetro para medir su ritmo cardíaco, un acelerómetro para detener al usuario en caso se desespere (un cambio abrupto en la velocidad del usuario sería interpretada como pánico), lamentablemente no fue posible realizarlo por el grado de dificultad y el proyecto, posteriormente se modificó el alcance del proyecto y hacer que se enfoque al movimiento de miembros superiores bajo el agua para rehabilitación de pacientes que hayan perdido la movilidad total o parcialmente (el nombre formal del proyecto es sistema mecatrónico para rehabilitación de pacientes con pérdida total o parcial del movimiento en los miembros superiores). El motivo de hacer rehabilitación debajo del agua es que trae varias ventajas consigo, de acuerdo a un estudio estadounidense (el cual pasó de ser público a privado en las últimas semanas, motivo por el cual no se pudo citar el documento), pacientes con parálisis corporal presentaron mejoras en cuanto a la circulación de la sangre, esto permite que se tenga una recuperación más rápida del movimiento, por otro lado, las propiedades del agua hacen que los movimientos realizados dentro de ella sean amortiguados, motivo por el cual no se crean esfuerzos excesivos en las articulaciones del paciente. Dentro de la investigación que se realizó se encontraron algunas máquinas que cumplían funciones similares, ninguna de ellas bajo el agua, se presentarán a continuación:

Elegs:

Desarrollado por Berkeley Bionics, es un exoesqueleto que ayuda a las personas que han perdido la capacidad motora en miembros inferiores a caminar. La figura A1.1 muestra el exoesqueleto.



Figura A1.1. Elegs
Fuente: Berkeley Bionics

The titan arm:

Desarrollado por alumnos de la universidad de Pennsylvania, el proyecto fue presentado en la copa Cornell (Cornell Cup) en Estados Unidos, resultando ganador. Usarlo permite el movimiento del codo mediante un control remoto y aumenta la fuerza aparente de la persona.



Figura A1.2 Uso del “Titan Arm”, a la izquierda se puede apreciar al usuario con una mancuerna que excede el peso que puede cargar (la estimación se hace en base al volumen muscular), a la derecha se puede apreciar el control remoto en la mano izquierda
Fuente: titanarm.com

Anexo 2: Aclaraciones acerca del presupuesto y del sistema.

En el presupuesto hay un cuadro llamado gastos no considerados al cual se le asigna el monto de 1000 soles, dentro de estos gastos se encuentran algunos accesorios como compresor de aire de 8 bares (el sistema funciona a 6 bares, precio aproximado 200 soles), escuadras para sujetar a los costados, ya que la restricción del movimiento por forma es más segura que la soldadura, sin embargo la soldadura es necesaria para evitar movimiento relativo entre el espaldar y el asiento, el precio aproximado de cada escuadra es de 20 soles y se necesitarían 2, una a cada lado, chocando con el asiento y el espaldar, en esta zona no habría cordón de soldadura, electroválvula proporcional, el precio aproximado es de 400 soles, elementos como circuitos, sensores, cables, borneras, etc., para la tarjetas diseñada, tablero electrónico (uno pequeño de 30x30 está aproximadamente 30 soles), pernos, pasadores, entre otros, todos estos precios aproximados fueron consultados, pero no se consiguió un documento que confirme el precio, por ese motivo fueron incluidos en el presupuesto formal y prefirió incluirse en el cuadro de gastos no considerados.

Aparentemente no se ha considerado un método que sujete el brazo de la persona, el motivo por el cual no se incluyó fue porque el producto fue pensado para hospitales o clínicas especializadas en la rehabilitación física, dichos centros cuentan con sus propias correas de sujeción para pacientes (accesorios especiales usados en medicina), la figura A2.1 muestran un par de correas de sujeción utilizadas típicamente en hospitales y clínicas, en caso no se cuente con eso, sería necesario lo fijar dos correas en la barra que representa al antebrazo y dos más en la barra que representa al brazo dependiendo de los costos o de los requerimientos del clientes podrían ser de dos tipos, los cuales se muestran a continuación (figura A2.2. y A2.3.).

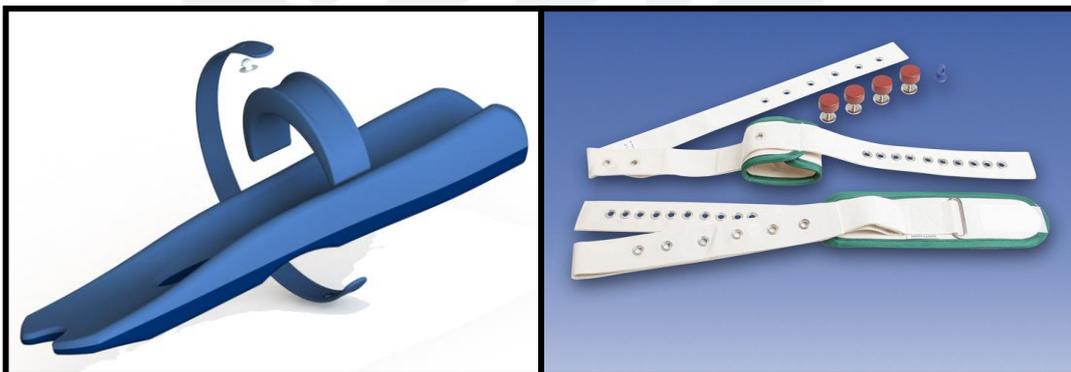


Figura A2.1 Correas de sujeción de uso médico.



Figura A2.2. Mecanismo de sujeción utilizado en mochilas
Fuente: ferrovicmar.com/



Figura A2.3. Mecanismo de sujeción utilizado en correas para pantalones
Fuente: alibaba.com

En el caso de la figura A2.1. sería necesario fijar 2 lados y regular el espacio que se tiene, mientras que en el segundo caso sería necesario fijar un solo lado (el más cercano a la hebilla) para regular con la zona libre, cabe mencionar que la figura A2.2. muestra uno de los mecanismos de sujeción de las correas para pantalones, en general cualquier mecanismo que sea regulable en un rango amplio de valores (no de manera discreta como las correas tradicionales).

Como se puede apreciar en la figura mostrada anteriormente (A2.1) en algunos casos las correas de sujeción médicas cuentan con un elemento adicional (similares a cojines) que evitan que el paciente se haga daño (o tenga alguna molestia en la piel), sin embargo, en caso sea necesario agregar cojines, estos se mandarían a hacer y su composición sería espuma forrada con una tela impermeable, las medidas de los cojines se muestran a continuación (figuras A2.4. y A2.5.):

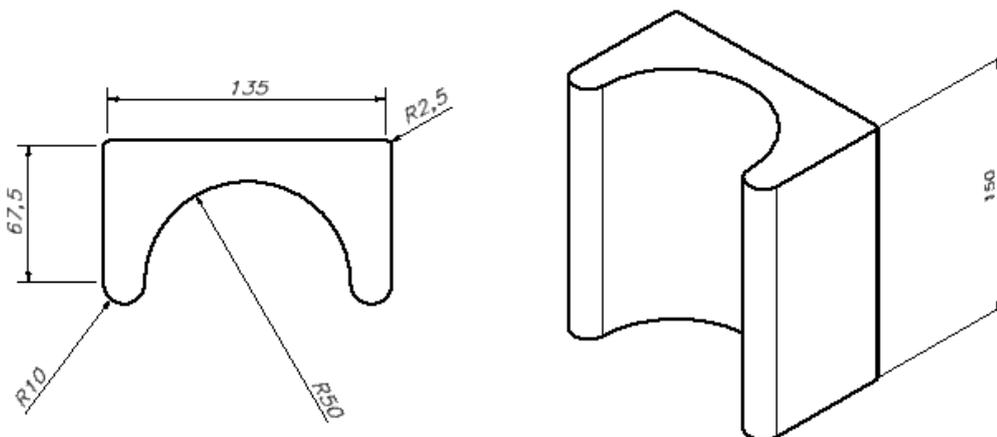


Figura A2.4. Cojín para el brazo.

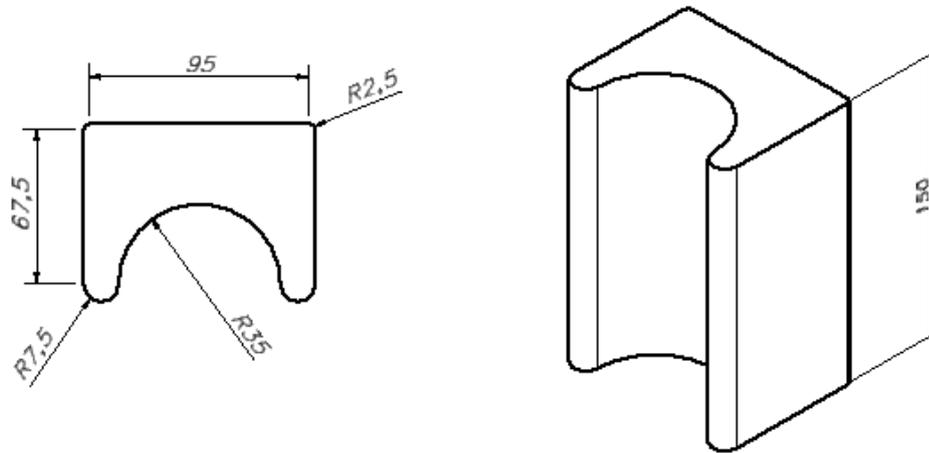


Figura A2.5. Cojín para el antebrazo.

Las figuras mostradas anteriormente no son planos, solo muestran las dimensiones de los cojines, los cojines y las correas no necesariamente estarían fijas entre sí, dependería de los requerimientos del cliente. Ambos costos (los de los cojines y las correas) no fueron cotizados. Tampoco se consideró un piso antideslizante para colocar en el fondo de la piscina, al tratarse de algo externo, se deja eso al cliente.

En relación a los cilindros neumáticos, éstos no fueron incluidos en el documento debido a que no se mandarán a fabricar, sin embargo, fueron modelados gracias a un software libre proporcionado por FESTO de donde se sacaron las medidas, para poder hacer los demás componentes del sistema.

Por otro lado, si bien es cierto no se menciona en el documento, se ha considerado un par de cojines para que el paciente se sienta cómodamente, el modelo visto está incluido en el presupuesto y son impermeables.

También es necesario el uso de una férula para inmovilizar el movimiento de la muñeca, ya que si cae se podría lesionar al paciente, el motivo por el que no se incluyó fue porque al ser el público objetivo centros especializados lo más probable es que cuenten con estos accesorios, en el diseño se dejó un agujero para que se coloque un tornillo y se acople la férula al antebrazo del sistema, es decisión del especialista si utilizarlo o si es suficiente con la férula.

La forma en que se vio al proyecto fue como la primera versión de un producto final, si llegase a implementarse se podría hacer modificaciones (si fueran necesarias) para un mejor funcionamiento y mejores resultados.

Existen fuentes que no pudieron ser mencionadas debido a que no reunían los datos necesarios para citarlos, entre ellos el libro dibujo mecánica uno y los manuales del profesor Kurt F. Paulsen Mosoco, otras fuentes no pudieron ser citadas debido a la falta de carácter académico, en este caso se revisaron varias fuentes para comprobar que la información mencionada es real.

Neumatica Industrial
De: Nely Elizabeth Samiento Crosco
Venta de Sistemas Hidráulicos, Neumáticos y Eléctricos
Mangueras, Conectores y Asesoramiento en Automatización Industrial
Av. Guillermo Dansey 354 - 360 C.C. Boulevard Electro Ferretero Stand H-22 1er Nivel Lima Cercado
Nextel: 826*2690 / Cel: 99 8262690 wilmer_pa_11@hotmail.com

NUEVA DIRECCIÓN
Av. Alcantara 523 Int. A-8
Cercado de Lima - Lima

RUC: 10449488551

Cotización
Nota de Pedido
001-Nº 000529

Señor(es) AARON Lima 06 de 12 del 2014

CANT.	DETALLE	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
01	piñon neumático 32x40 festo		230.00
01	electrovalvula 5/2 de V2 F/3to		350.00
01	sensor de posición magnético festo		150.00
01	bloque de distribución		85.00
01	Pálor recto de VBA 6mm festo		9.00
01	rollo manguera de Con sangría		4.50
01	Unidad de mantenimiento de V2 Nuevo		280.00

Los Precios indicados no incluyen el I.G.V. A cuenta Saldo Total

ACEPTADO
Cliente

Figura A3.2. Costo de los componentes neumáticos.



INOXIDABLES EIRL

FABRICACION ESPECIALES EN ACERO INOXIDABLE, FIERNOS Y AFINES

Telf.: 302-0356 / Cel.: 9903-87832
Nextel: (98) 134*0678 / (94) 643*8262 (94) 420*4865
E-mail: ricardonodi@hotmail.com

**PROFORMA
CONTRATO**

Nº 900512

FECHA 04 / 12 / 2014

Nombre o Razón Social: Ayon

R.U.C. _____ Tel: _____

Dirección: _____ Nota: _____

DESCRIPCION	CANT	PRECIO
01 Fabricación de perfiles + □ 3cm x 3 /20		S/ 90
01 Perfil L 2cm x 3cm x 2mm /20		
01 tubo cuadrado 2x3 x 1.5 60cm /20		
01 Retor. rot + □ /10		
TOTAL A PAGAR		
ADELANTO		
SALDO		

Asesor Contable

Firma del Cliente

Figura A3.3. Costo del trabajo en los tubos de acero inoxidable

VIZA IMPORT ORTOPEdia
IMPORTADORES & FABRICANTES
Av. Brasil 875, Jesús María (Frente al grupo Garibaldi) - LIMA
Tel: 424-0290 / 697-588709

Atención: de Lun. a Vie. de 9:30 a 7:15 pm y Sáb. de 9:30 a 5:00 pm

PROFORMA
Nº 003370

ATEN: Irene

Paciente: Acron Arrese Bernabe

Ed: 2 años

TEL: _____

REF: DOC _____

ESPECIALIDAD _____

CAN: _____

CLIENTE NUEVO:

RECETA ANTIGUA Renovación

Falta verificar doc.

Contratos: _____

Observaciones: _____

FABRICAMOS CALZADOS ORTOPEDICOS
De cuero para pies planos, pie cavito, dedos en garra, juanetas, personas con una pierna mas larga que la otra, (Acorchamiento), etc.
*Zapatos, Botines y Zapatillas para Niños.
*Calzados y zocalillos para Adultos (Se realizan pruebas al paciente)
*Calzados para diabéticos (Se realizan pruebas al paciente)
*Calzados para personas que usan Soportes Ortopédicos (Se realizan pruebas al paciente)

GARANTIA MEDICA
Puede tener su pedido para que el mismo día de su tratamiento revise que se han cumplido sus indicaciones médicas.

CONTAMOS CON PRODUCTOS PARA DOLOR DE CUELLO
Almohadas, rodillo, cervical, compres cervical, etc.

ESPALDA
Cojín surtido suave, correderas posturales, fajas, correderas lumbaras etc.

PIE
Gel posturales, talpa y arpillera

VER CATALOGO AL ADVERSO

Cojín de Gel 1a +	95	75,=
Almohado	95	50,=
Respaldo	95	55,=

www.ortopediadiaviza.com

Ústed siempre decide por... Nuestra Calidad

Gracias por su elección

Figura A3.4. Costo de los cojines para el asiento y el espaldar.

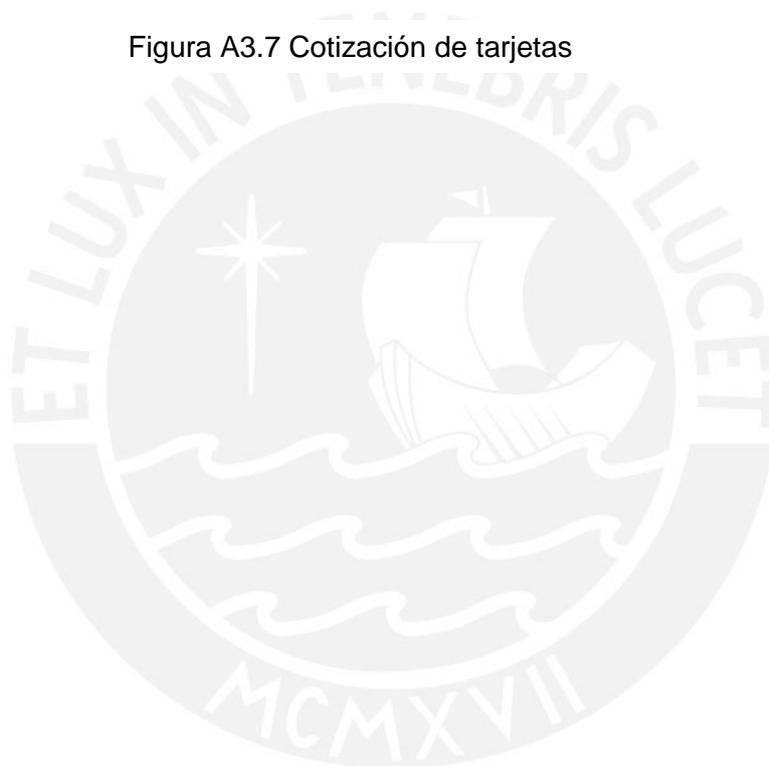
Cotización de las tarjetas, realizadas por el ingeniero Bazán:

COMO ESTA AARON , SUS TARJETAS SON DE UN
AMBOS LADOS . LOS PRECIOS SON LOS SGTES;

MOD 1	3.68 X 4.2 CM	10.00 N SOLES
MOD 2	9.3 X 5 CM	20.00 N SOLES
MOD 3	9.6 X 4.3 CM	18.00 N SOLES

SALUDOS JOSE BAZAN
JOBARECI EIRL

Figura A3.7 Cotización de tarjetas



Anexo 4: Simulación del sistema.

Se hizo una simulación del sistema, en donde se obtuvo que el esfuerzo máximo obtenido es de 50MPa aproximadamente (se da en los pines que soportan cerca de 400N), valor por debajo de la fluencia del acero, el que muestra menor resistencia (no es inoxidable) tiene aproximadamente 205MPa antes de la fluencia. Las figuras mostradas a continuación muestran el resultado de la simulación realizada (figura 4.1.) y los valores de resistencia de diferentes tipos de hacer (figura 4.2.)

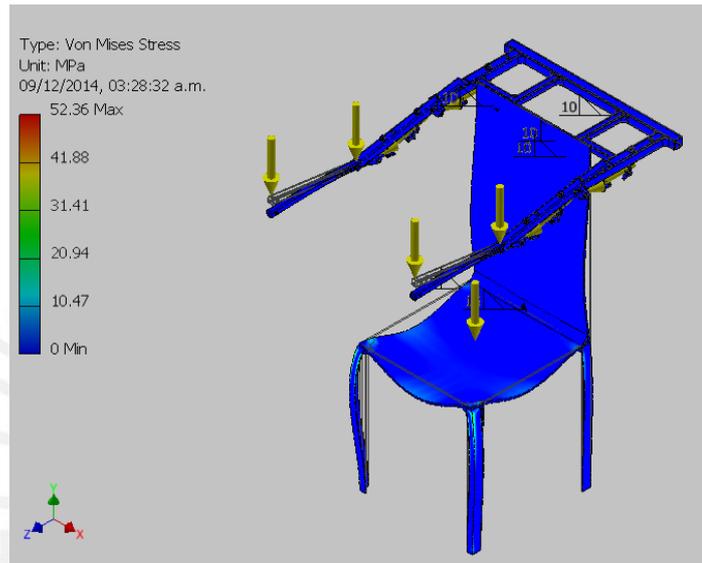


Figura 4.1. Gráfico que muestra los esfuerzos generados en nuestro sistema.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS						
TEMPER	RESISTENCIA A LA TENSION	RESISTENCIA DE CEDENCIA (0.02%)	ELONGACIÓN (2") (%)	DUREZA TÍPICA		
ANNEALED	75 KSI min (515 MPa min)	30 KSI min (205 MPa min)	40 min	92 Rb max		
1/16 H	90 KSI min (620 MPa min)	45 KSI min (310 MPa min)	41 min			
1/8 H	100 KSI min (690 MPa min)	55 KSI min (380 MPa min)	40 min			
1/4 H	125 KSI min (860 MPa min)	75 KSI min (515 MPa min)	25 min	25-30 HRC		
1/2 H	150 KSI min (1035 MPa min)	110 KSI min (760 MPa min)	15% < 0.015" 18% ≥ 0.015"	30-35 HRC		
3/4 H	175 KSI min (1205 MPa min)	135 KSI min (930 MPa min)	10% < 0.015" 12% ≥ 0.015"	35-40 HRC		
FULL HARD	185 KSI min (1275 MPa min)	140 KSI min (965 MPa min)	8% < 0.015" 9% ≥ 0.015"	40-45 HRC		
EXTRA FULL HARD	270 KSI min (1860 MPa min)		≤ 0.014"			
SPRING	185 KSI min (1275 MPa min)			40-45 HRC		

NOTA: La dureza es unicamente una guía, la RT y RC son las propiedades mandatorias

Figura 4.2. Propiedades mecánicas de varios tipos de acero de acuerdo a norma.

Fuente: <http://www.ulbrinox.com.mx/public/pdf/inoxidable.pdf>

También se hizo una simulación del funcionamiento del circuito neumático para un cilindro. La secuencia del funcionamiento se mostrará a continuación (figura 4.3 a 4.5):

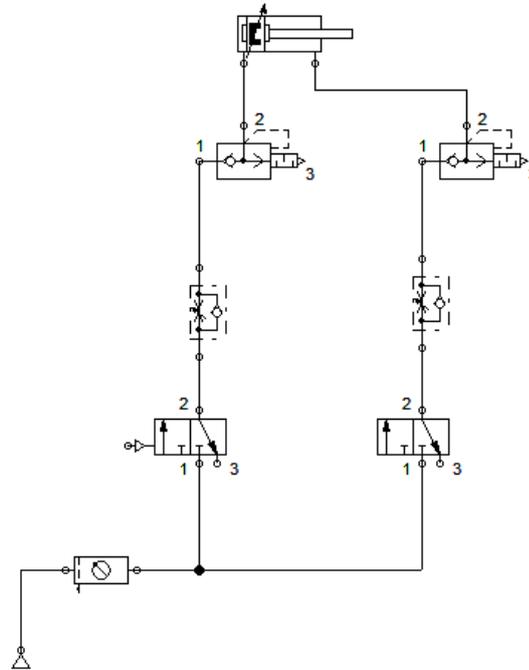


Figura 4.3. Sistema apagado.

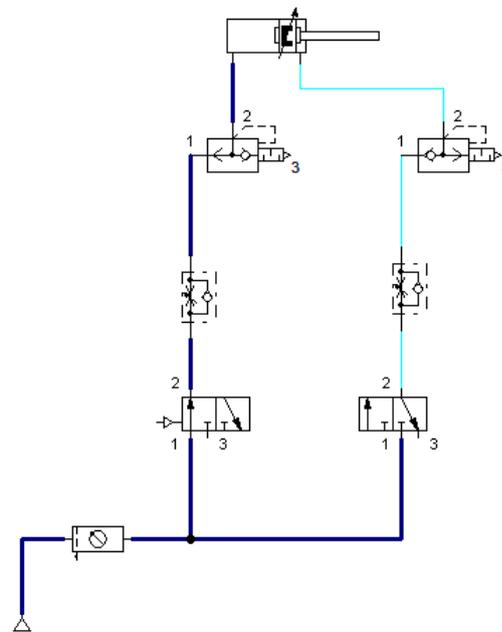


Figura 4.4. Sistema encendido, posición 1, la línea azul representa el flujo de aire, también se puede apreciar la posición del cilindro.

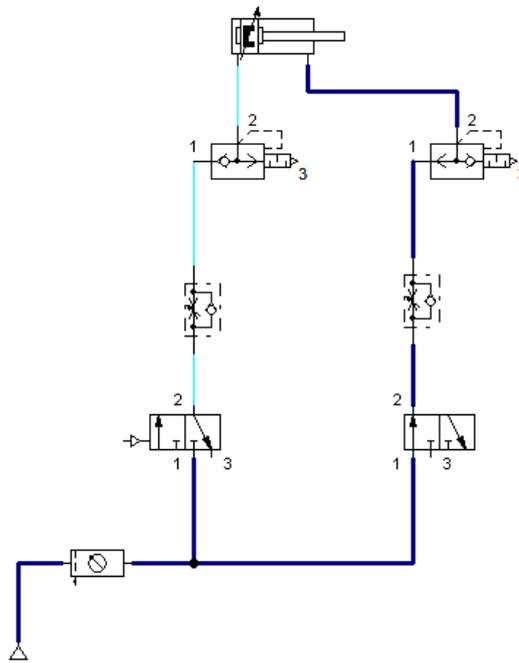


Figura 4.5. Figura 4.4. Sistema encendido, posición 1, la línea azul representa el flujo de aire, también se puede apreciar la posición del cilindro.

Anexo 5: Cálculos.

Cálculo de los cilindros neumáticos: para calcular ambos cilindros se tomó en cuenta el caso crítico, el cual es la posición horizontal tanto del brazo como del antebrazo (estas posiciones no son posibles dadas las limitaciones que se le ha puesto al sistema). El antebrazo fue considerado como un cuerpo cilíndrico de 3.1cm de radio y 27cm de largo, se obtuvo una fuerza de empuje de 8N, para el caso del brazo, se consideró como un cuerpo cilíndrico de 4cm de radio y 28cm de largo, se obtuvo una fuerza de empuje de 13.8N, posteriormente se decidió desechar esos valores, ya que un caso más crítico es cuando no hay fuerza de empuje (los cilindros tendrán que ejercer más fuerza). Se consideró el peso aproximado de 70 kg, 2.3% del peso total para el antebrazo y 5% para el brazo más el antebrazo (peso del antebrazo: 1.61kg, peso del brazo más el antebrazo: 3.5kg), se asumió que toda la fuerza se concentró en los extremos más lejanos (para que ejerzan mayor momento).

En la figura A5.1 se muestra la forma en que se modeló al antebrazo, el punto B representa la unión entre el brazo y el antebrazo, 15.8N es el peso del antebrazo, la fuerza en C es desconocida así como la distancia. Se hizo una tabla en Excel de donde se obtuvieron los resultados mostrados a continuación (tabla A5.1).



Figura A5.1. Modelo usado para el cálculo del actuador para el brazo

Tabla A5.1 distancias para distintos diámetros de émbolo a distintas presiones

Cilindro	P	P	P	P	M	F 2bar	F 4bar	F 6bar	F 8 bar	d 2bar	d 4bar	d 6bar	d 8bar
8	2	4	6	8	4819	10.05	20.11	30.16	40.21	479.36	239.68	159.79	119.84
10	2	4	6	8	4819	15.71	31.42	47.12	62.83	306.79	153.39	102.26	76.70
12	2	4	6	8	4819	22.62	45.24	67.86	90.48	213.05	106.52	71.02	53.26
14	2	4	6	8	4819	30.79	61.58	92.36	123.15	156.52	78.26	52.17	39.13
16	2	4	6	8	4819	40.21	80.42	120.64	160.85	119.84	59.92	39.95	29.96
18	2	4	6	8	4819	50.89	101.79	152.68	203.58	94.69	47.34	31.56	23.67
20	2	4	6	8	4819	62.83	125.66	188.50	251.33	76.70	38.35	25.57	19.17
22	2	4	6	8	4819	76.03	152.05	228.08	304.11	63.39	31.69	21.13	15.85
24	2	4	6	8	4819	90.48	180.96	271.43	361.91	53.26	26.63	17.75	13.32
26	2	4	6	8	4819	106.19	212.37	318.56	424.74	45.38	22.69	15.13	11.35
28	2	4	6	8	4819	123.15	246.30	369.45	492.60	39.13	19.57	13.04	9.78
30	2	4	6	8	4819	141.37	282.74	424.11	565.49	34.09	17.04	11.36	8.52
32	2	4	6	8	4819	160.85	321.70	482.55	643.40	29.96	14.98	9.99	7.49
34	2	4	6	8	4819	181.58	363.17	544.75	726.34	26.54	13.27	8.85	6.63
36	2	4	6	8	4819	203.58	407.15	610.73	814.30	23.67	11.84	7.89	5.92
38	2	4	6	8	4819	226.82	453.65	680.47	907.29	21.25	10.62	7.08	5.31
40	2	4	6	8	4819	251.33	502.65	753.98	1005.31	19.17	9.59	6.39	4.79



En la figura A5.2 se muestra la forma en que se modeló al brazo, el punto B representa la unión entre el brazo y el antebrazo, 15.8N es el peso del antebrazo, 18.6N es el peso de la parte superior del brazo la fuerza en C es desconocida así como la distancia. Se hizo una tabla en Excel de donde se obtuvieron los resultados mostrados a continuación (tabla 5.2).



Figura A5.2. Modelo usado para el cálculo del actuador para el brazo

Tabla A5.1 distancias para distintos diámetros de émbolo a distintas presiones

Cilindro	P	P	P	P	M	F 2bar	F 4bar	F 6bar	F 8 bar	d 2bar	d 4bar	d 6bar	d 8bar
8	2	4	6	8	14592.40	10.05	20.11	30.16	40.21	1451.53	725.77	483.84	362.88
10	2	4	6	8	14592.40	15.71	31.42	47.12	62.83	928.98	464.49	309.66	232.25
12	2	4	6	8	14592.40	22.62	45.24	67.86	90.48	645.13	322.56	215.04	161.28
14	2	4	6	8	14592.40	30.79	61.58	92.36	123.15	473.97	236.99	157.99	118.49
16	2	4	6	8	14592.40	40.21	80.42	120.64	160.85	362.88	181.44	120.96	90.72
18	2	4	6	8	14592.40	50.89	101.79	152.68	203.58	286.72	143.36	95.57	71.68
20	2	4	6	8	14592.40	62.83	125.66	188.50	251.33	232.25	116.12	77.42	58.06
22	2	4	6	8	14592.40	76.03	152.05	228.08	304.11	191.94	95.97	63.98	47.98
24	2	4	6	8	14592.40	90.48	180.96	271.43	361.91	161.28	80.64	53.76	40.32
26	2	4	6	8	14592.40	106.19	212.37	318.56	424.74	137.42	68.71	45.81	34.36
28	2	4	6	8	14592.40	123.15	246.30	369.45	492.60	118.49	59.25	39.50	29.62
30	2	4	6	8	14592.40	141.37	282.74	424.11	565.49	103.22	51.61	34.41	25.81
32	2	4	6	8	14592.40	160.85	321.70	482.55	643.40	90.72	45.36	30.24	22.68
34	2	4	6	8	14592.40	181.58	363.17	544.75	726.34	80.36	40.18	26.79	20.09
36	2	4	6	8	14592.40	203.58	407.15	610.73	814.30	71.68	35.84	23.89	17.92
38	2	4	6	8	14592.40	226.82	453.65	680.47	907.29	64.33	32.17	21.44	16.08
40	2	4	6	8	14592.40	251.33	502.65	753.98	1005.31	58.06	29.03	19.35	14.52

Cálculo de la potencia del compresor:

El mayor consumo se tiene cuando trabaja un solo cilindro a 6 bar, debido a que se tiene la presión más alta, incluso cuando se tienen 2 cilindros trabajando juntos no trabajan a tanta presión por lo tanto su consumo es menor.

Consumo de aire:

Diámetro del émbolo = 32mm

Carrera = 40mm

Volumen de aire desplazado:

$\pi \cdot 16^2 \cdot 40 = 32170 \text{mm}^3$ de aire, como es ida y vuelta se multiplica este valor por 2 y se obtiene: 64340mm^3 .

Se hace el cálculo para 10 repeticiones por minuto.

Entonces:

$P = 8 \cdot 10^5 \cdot 64340 \cdot 10^{-9} \cdot 10 / 60 = 9 \text{w}$ La potencia requerida es bastante baja, se calcula con 8 bar de presión en lugar de 6 para asegurar que se llega a la potencia requerida.

Cordón de soldadura:

La mayoría de cordones en este proyecto cumplen la función de sujetar sin estar sometido a grandes esfuerzos, se hará el cálculo para el cordón más grande utilizamos la fórmula: $\sigma = Mf \cdot y / I$, se calculan unos 300N actuando sobre el centro de gravedad del espaldar, con esos valores obtenemos lo siguiente: $Mf = 900 \text{N} \cdot \text{mm}$, $y = 2.5 \text{ mm}$, $I = 416.7 \text{ mm}^4$, lo cual nos da un resultado de 5.4MPa (valor muy bajo), al verificar de acuerdo al eurocódigo notamos que 15mm de garganta cumple, incluso está sobredimensionado, el motivo para el sobredimensionamiento es que al estar sobre ella el paciente que no puede moverse se debe asegurar lo mejor posible, ya que de no hacerlo el paciente podría ahogarse, además, al tener las escuadras como soportes adicionales a los costados el esfuerzo en el cordón se reduce drásticamente.

Cálculo de pasadores.

La fuerza máxima aproximada que soporta cada pasador es de 500N (250 N en cada apoyo), este cálculo se hace para los pasadores que están en contacto con las barras de aluminio y tienen 2 contactos de 2mm a lo largo de su diámetro.

Se calcula el esfuerzo cortante:

$$250 / (\pi \cdot 4^2) = 4.9 \text{MPa}$$

Se calcula el esfuerzo de aplastamiento:

$$500 / (4 \cdot 8) = 15.26 \text{Mpa}$$

Ambos esfuerzos son pequeños para el material. En la simulación realizada el esfuerzo obtenido fue de aproximadamente 50MPa, ese también es un valor bajo.

Cálculo de circuitos:

Para el primer circuito presentado en el capítulo 3, se tiene que la salida del arduino es de 130mA, mientras que el sensor (su hoja de datos se mostrará más adelante) soporta 80mA, el voltaje de salida del pin es de 5V, por lo tanto, aproximamos el diodo dentro del componente como un cable y por la ley de ohm sabemos que una resistencia de 180ohmios es suficiente para emitir un voltaje pequeño (27mA) de manera que no se daña el arduino due ni el componente, originalmente este cálculo se hizo para un arduino leonardo, y se tuvo cuidado con no pasar los 40mA.

Para el segundo circuito se tiene en cuenta que la salida del sensor es de 100mA, en el caso del arduino Leonardo que fue el primero seleccionado sí había necesidad de utilizar un divisor de corriente, en este caso ya no es necesario debido a que el arduino due soporta hasta 130 mA, sin embargo, se utilizará un divisor de corriente que divida la corriente a la mitad solo por seguridad (prevención en caso se produzca algún pico de corriente).

En el último circuito, las resistencias de 10k Ω cumplen la función de resistencias de pull down.

